

# Réponses du palmier à huile aux fumures azotées et phosphorées à Sumatra

F. H. TAMPUBOLON (1), C. DANIEL (2), R. OCHS (2)

**Résumé.** — Depuis plusieurs années, le réseau expérimental installé sur les plantations SOCFINDO du nord de Sumatra avait permis la mise en évidence d'une déficience en azote sur les sols d'origines volcanique ou sédimentaire, très fréquemment accompagnée d'un niveau insuffisant de la nutrition en phosphore. C'est ainsi que l'application simultanée d'urée et de superphosphate triple a fait passer la production moyenne d'une expérience entre les âges de 17 à 28 ans de 12,5 à 22 t de régimes/ha/an. Dès la fin des années 1970, les niveaux critiques des teneurs foliaires en N avaient pu être définis, en même temps qu'il était démontré que pour l'élément P la notion de niveau critique devait être remplacée par celle d'équilibre optimal N/P qui se traduisait par l'équation :  $P \% = 0,0487 N \% + 0,039 (1)$ , valable à l'époque pour des arbres âgés de 15 ans. Dix ans plus tard, l'exploitation des résultats de huit expériences du réseau SOCFINDO a permis d'étudier les évolutions en fonction de l'âge des arbres du niveau critique de N et de l'équation d'équilibre N/P. Ces études ont été faites par ajustement des courbes de réponse selon la loi des accroissements moins que proportionnels de Mitscherlich et en déterminant des niveaux critiques dits « économiques », fonctions des conditions du marché (engrais et huile de palme). Le niveau critique de N diminue avec l'âge, rapidement entre 4 et 20 ans, passant dans cette période de 2,90 % à 2,50 % puis plus lentement au-delà de 20 ans puisqu'il se maintient à 2,40 % à 28 ans. La sensibilité du niveau critique aux fluctuations des conditions du marché est faible. Les niveaux critiques en P, calculés de la même manière que ceux en N, s'alignent sur la droite d'équilibre (1) quel que soit l'âge des arbres entre 8 et 26 ans. La nouvelle droite d'équilibre N/P pour l'ensemble des situations et des âges étudiés est :  $P \% = 0,0347 N + 0,075$  (conditions économiques moyennement favorables, avec 5 kg de régimes payant 1 kg de phosphate). Par rapport à la droite d'équilibre d'arbres de 15 ans (1), les variations des niveaux optima de P sont faibles soit une différence de + 4,9 % pour une teneur en N de 2,10 % et seulement de - 0,6 % pour une teneur en N de 2,70 %. Ces résultats ont évidemment des applications pratiques importantes dans la gestion rationnelle et économe des fumures azotée et phosphorée tout au long de la vie des palmeraies. Par ailleurs, l'équilibre N/P défini à Sumatra n'a, pour l'instant, pas encore pu être infirmé dans aucune autre région du monde.

## INTRODUCTION

Les plantations de palmier à huile du nord de Sumatra sont situées essentiellement sur des sols d'origines volcanique et alluvionnaire et également sédimentaires.

Bien que ces sols présentent généralement des richesses en matière organique et azote total apparemment satisfaisantes, les applications d'engrais azotés accroissent, parfois de façon spectaculaire, les niveaux de nutrition des palmiers et leurs rendements. Ceci avait été montré dès 1976 par Ummar Akbar *et al.* pour les plantations de la SOCFINDO dans lesquelles la richesse des sols en azote total des horizons superficiels jusqu'à 50 cm de profondeur reste voisine de 1 %.

La nutrition phosphorée des arbres est variable selon les situations correspondant à des richesses du sol également très diverses, les teneurs en P total de l'horizon superficiel (0-20 cm) se situant entre 150 et 1 300 ppm, valeurs extrêmes se réduisant respectivement à 60 et 830 ppm pour l'horizon 30-50 cm (réseau expérimental SOCFINDO). Selon les études conduites par l'IRHO en collaboration avec l'Institut Mondial du Phosphate, à une telle gamme de teneurs devaient correspondre à la fois des situations de déficience et d'autres de bonne alimentation en phosphore. Des réponses aux engrais phosphatés avaient bien été rapportées dès 1957 par Dell *et al.* puis reprises par Ummar Akbar *et al.* Entre temps, l'IRHO avait montré [1, 4] que, du fait du synergisme important existant chez le palmier à huile entre les teneurs foliaires de N et de P, le niveau critique de P ne pouvait se concevoir indépendamment de celui de N, d'où la nouvelle notion d'équilibre critique entre teneurs en P et teneurs en N.

La présente note tente d'exploiter, dans les domaines de fertilisations azotée et phosphorée, les résultats accumulés au

cours des dix dernières années sur le réseau expérimental déployé au nord de Sumatra par la SOCFINDO.

Les points suivants seront plus particulièrement abordés :

- détermination de l'évolution du niveau critique de la teneur foliaire en N en fonction de l'âge des arbres,
- nouvelle méthode de détermination du rapport optimal des teneurs foliaires en N et P (équilibre N/P) ;
- détermination de l'évolution de ce rapport optimal N/P en fonction de l'âge des arbres.

L'intérêt agronomique et l'importance économique de la correction de cette double déficience sont illustrés par l'accroissement moyen de rendement obtenu sur la plus ancienne expérience de la SOCFINDO, AL1, soit entre les âges de 17 à 28 ans, un rendement moyen passant de 12,5 à 22,0 t de régimes/ha/an par l'application simultanée d'urée et de superphosphate triple.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. — Le réseau expérimental de la SOCFINDO.

Parmi les expériences agronomiques conduites par la SOCFINDO au sein de ses plantations du nord de Sumatra, huit d'entre elles étudient simultanément des apports d'engrais azoté et phosphoré : il s'agit dans tous les cas de dispositifs factoriels avec trois niveaux pour chacun de ces deux engrais.

Ces expériences sont réparties dans huit plantations différentes, six sur la côte est et deux sur la côte occidentale très bien arrosée, et sur sols d'origines sédimentaire et volcanique (Tabl. I). Il ressort de ces données que les résultats d'analyse chimique des sols ne peuvent être rapprochés de leurs origines. On trouve ainsi dans le sédimentaire des teneurs en carbone, azote total et formes de phosphore très différentes selon les situations (à comparer par exemple Aek Kwasan avec Seunagan) ; les sols d'origine volcanique seraient plus

(1) Agricultural Departement, P. T. SOCFINDO.

(2) IRHO/CIRAD, Division Agronomie, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.

TABLEAU I. — Caractéristiques du réseau expérimental SOCFINDO consacré à l'étude des fertilisations azotée et phosphorée — (*Characteristics of the SOCFINDO experimental network set up to study nitrogen and phosphorus fertilization*)

Essai (Trial)	Nom de la plantation (Name of the plantation)	Localisation (Location)	Caractéristiques pédologiques (1) (Soil characteristics)							Caractéristiques des essais (2) (Trial characteristics)				
			Type de sol (Soil type)	C %	N ‰	C/N	Phosphore ppm			pH (eau) (Water)	Eléments étudiés (Elements studied)	Nombre de niveaux (Number of levels)	Année de plantation (Planting year)	Année de début d'essai (Year trial began)
							Total	Saunders	Olsen					
AL1	Aek Loba	Côte est (East coast)	Volcanique (Volcanic)	3,02	2,48	12,0	180	16	25	5,20	N-P-K-X (3)	3-3-3-2	1959	1974
BB3	Bangun Bandar	»	»	1,30	1,67	8,0	188	63	15	4,85	N-P-K-Mg	3-3-3-2	1974	1978
TG2	Tanah Gambus	»	»	1,42	1,68	8,0	153	39	18	5,05	N-P-K-Mg	3-3-3-2	1971	1979
AK1	Aek Kwasan	»	Sédimentaire (Sedimentary)	1,76	1,52	11,5	167	46	19	4,85	N-P-Mg-K	3-3-3-2	1978	1978
NL1	Nagri Lama	»	»	—	—	—	—	—	—	—	N-P-Ca-K	3-3-3-2	1978	1984
SL1	Sungai Liput	»	»	1,74	2,40	8,0	544	185	45	4,40	N-P-K	3-3-3	1974	1980
LB1	Lae Butar	Côte ouest (West coast)	»	2,03	1,82	11,0	209	54	20	5,00	N-P-K-Mg	3-3-3-2	1974	1980
SG1	Seunagan	»	»	4,13	4,45	9,0	1 320	510	96	4,70	N-P-K	3-3-3	1975	1978

(1) Horizon 0-20 cm (0-20 cm horizon).

(2) Tous les dispositifs sont de type factoriel (*All of the designs are factorial type*).

(3) X0 = application normale du traitement P ; X1 = application du traitement P interrompue depuis 1981 (*X0 = normal application of treatment P ; X1 = application of treatment P halted since 1981*).

uniformes encore que les teneurs en carbone et en azote total d'Aek Loba soient nettement supérieures à celles de Negri Lama ou de Tanah Gambus. Différents facteurs peuvent expliquer ces variations : positions topographiques, ayant provoqué des actions érosives plus ou moins intenses, passés culturels différents, etc.

## 2. — Conduites des expériences.

Les expériences sont constituées de parcelles expérimentales comportant un minimum de vingt-cinq arbres utiles pour les parcelles principales et de dix pour les sous-parcelles (cas des essais factoriels subdivisés).

Les réponses aux engrais sont contrôlées annuellement sur les plans de la nutrition des arbres utiles (diagnostic foliaire) et de leur production (nombres et poids de régimes).

## 3. — Principes d'exploitation des résultats ; niveaux critiques de la teneur foliaire en azote.

Les résultats obtenus depuis la mise en place de chaque expérience ont été regroupés, chaque fois que possible, par période de trois campagnes successives de façon à atténuer les résultats éventuellement discordants de certaines années ; par ailleurs, la détermination de l'âge des arbres à deux ans près semble suffisante et vouloir travailler à l'année n'apporterait qu'une précision illusoire.

Dans tout ce qui suit, l'âge des arbres est celui correspondant à l'année de prélèvement DF. Les campagnes de production sont retardées d'un an par rapport à cette date.

Pour chaque période d'âge, les analyses de variance déterminent si l'engrais azoté a un effet significatif sur la production ; dans de tels cas, la réponse est ajustée selon la loi des réponses moins que proportionnelles, loi de Mitscherlich, qui se traduit mathématiquement par l'équation

$$y = a - b e^{-cx}$$

$y$  = donnée de production (par exemple, en kg de régimes/arbre/an),

$x$  = quantité d'engrais (par exemple, en kg d'urée/arbre/an).

Dans l'état actuel de nos connaissances, ce type d'ajustement paraît bien correspondre aux augmentations de production du palmier dans les gammes de doses d'engrais généralement appliquées dans les essais agronomiques.

A partir de la courbe de réponse de la production, un exemple est présenté dans la figure 1, on détermine la quantité économiquement maximum,  $x_m$ , d'engrais, c'est-à-dire celle dont le coût (engrais épandu au pied de l'arbre) est exactement remboursé par la valeur nette des régimes supplémentaires produits. Cette quantité  $x_m$  correspond au point où la tangente à la courbe est parallèle à la droite d'équilibre  $\frac{dy}{dx}$ , avec  $dy$  = quantité de régimes dont la valeur nette est égale au coût d'une quantité d'engrais épandu  $dx$ . Ce rapport  $\frac{dy}{dx}$  caractérise donc les conditions économiques qui prévalent en une situation et un moment donnés.

Dans le cas de Sumatra, les quantités d'engrais  $x_m$  ont été calculées pour deux valeurs de  $\frac{dy}{dx}$ , soit

$\frac{dy}{dx} = 5$  ; situation moyennement favorable, avec 5 kg de régimes remboursant 1 kg d'engrais

et

$\frac{dy}{dx} = 2,5$  ; situation très favorable, puisqu'il suffit de 2,5 kg de régimes pour payer 1 kg d'engrais.

La même démarche est appliquée pour déterminer les courbes de réponse des teneurs foliaires en N en fonction des doses d'engrais ; il est alors possible de calculer les niveaux critiques économiques en N correspondants aux doses  $x_m$ .

La détermination des courbes de réponse des productions et des teneurs foliaires en fonction des doses d'engrais est faite sur tout ou partie d'une expérience, en fonction des effets et (ou) des interactions des autres éléments (voir paragraphe résultats).

En définitive, il est possible de calculer les niveaux critiques économiques des teneurs foliaires en N pour,

— chaque essai,

— chaque gamme d'âge (chacune d'une étendue de trois ans),

— toutes hypothèses en matière de conditions économiques, deux ayant été retenues dans le cas présent soit  $\frac{dy}{dx}$  égales à 5 et 2,5.

## 4. — Principes d'exploitation des résultats ; équilibre des teneurs foliaires en azote et en phosphore.

Dans les mêmes huit expériences que précédemment, on procède de façon identique pour déterminer les niveaux critiques des teneurs foliaires en P, mais chaque fois dans une gamme de teneurs en N définies. Ainsi, pour un certain nombre de teneurs en N correspondent des niveaux critiques en P d'où la détermination de la courbe d'équilibre N/P pour chaque essai, chaque classe d'âge et selon les conditions économiques définies par les valeurs données au rapport  $\frac{dy}{dx}$ .

Cette démarche demande des investigations complémentaires lorsque les applications de phosphate augmentent significativement non seulement les teneurs en P, mais également celles en N (voir paragraphe résultats).

## NIVEAUX CRITIQUES DE LA TENEUR FOLIAIRE EN AZOTE

### 1. — Résultats.

Le tableau II récapitule les effets de l'urée sur les teneurs foliaires en N et les productions.

Les résultats de trois essais ne sont pas utilisables :

— Dans NL1, plantation Negri Lama, l'urée, incluant la dose la plus forte de 2 kg/arbre/an, n'augmente ni les teneurs foliaires, ni la production.

— Dans SG1, plantation Seunagan, l'urée n'augmente pas significativement la production, même si elle améliore sensiblement la nutrition azotée dans la période de 9-11 ans.

— Dans LB1, plantation Lae Butar, l'urée augmente les teneurs foliaires en N de la période 7-9 ans sans effet sur la production ; pour la période 10-12 ans, le niveau critique n'est pas calculable (pas d'ajustement possible des données de production), mais on pourrait admettre que le niveau critique approché de N serait  $< 2,60$ .

En résumé, la méthodologie présentée en début de note a pu être appliquée dans treize cas répartis sur cinq expériences et les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau III.

### 2. — Interprétation, discussion.

Il paraît difficile de relier ces différents résultats aux origines du type de sol, même si, semble-t-il, les niveaux critiques sur sol volcanique sont, à l'âge équivalents, sensiblement inférieurs à ceux sur sol sédimentaire.

On peut seulement remarquer que tous les essais dans lesquels on n'obtient pas de réponse nette aux apports d'urée sont situés sur sol sédimentaire.

TABLEAU II. — Influence de la fumure azotée sur les teneurs foliaires et les rendements — (*Effect of nitrogen fertilizer on leaf contents and yield*)

Essai (Trial)	Age (Age)	Doses d'urée (Urea rates) (1)			Teneur en N (N content %)			Production (Production) (2)			Effets positifs des autres éléments (Positive effects of other elements) (3)		Etendue de l'étude (Scope of study)
		N0	N1	N2	N0	N1	N2	N0	N1	N2	Sur les rendements (On yield)	Sur les teneurs en N (On N contents)	
AL1	17-18	0	2,0	3,0	2,05	2,36**	2,43**	108	143**	146**	P**	—	Tout l'essai (Whole of trial) (4)
AL1	19-21	0	2,0	3,0	2,17	2,39**	2,47**	97	131**	136**	P**	—	
AL1	22-24	0	2,0	3,0	2,24	2,43**	2,49**	120	149*	150*	P**	—	
AL1	25-27	0	2,0	3,0	2,27	2,40**	2,45**	127	144*	147*	P**, K*	—	» »
BB3	4-6	0	1,5	3,0	2,80	2,84*	2,86**	200	209	215	—	—	» »
BB3	7-9	0	1,5	3,0	2,60	2,72**	2,73**	181	199**	204**	K*	Mg**	» »
BB3	10-12	0	1,5	3,0	2,53	2,65**	2,71**	171	183*	186*	P*	—	» »
TG2	9	0	1,5	3,0	2,64	2,72**	2,77**	170	196**	202**	N/K* (8)	Mg**	» »
TG2	10-12	0	1,5	3,0	2,47	2,63**	2,72**	155	192**	204**	—	—	» »
TG2	13-15	0	1,5	3,0	2,36	2,56**	2,67**	137	176**	190**	N/P*	N/P (at 8 %)	» »
AK1	4-6	0	1,3	2,6	2,82	2,91	2,96	174	192	205	P**, K**, K/P**	P**, K**, K/P*	Traitements (Treatments) (P1 + P2) K1
AK1	7-9	0	1,0	2,0	2,68	2,79	2,81	174	193	193	P**, K*	P**	» (P1 + P2)
NL1	6-8	0	1,0	2,0	2,67	2,69	2,71	154	147	160	—	—	Néant (Nil) (5)
SL1	7-9	0	1,5	3,0	2,74	2,82**	2,85**	160	177	168	K**	K*	Traitements (Treatments) (K1 + K2) (6)
SL1	10-12	0	1,5	3,0	2,59	2,73**	2,75**	175	202	206	K**	—	Tout l'essai (Whole of trial)
LB1	7-9	0	1,5	3,0	2,64	2,71	2,73	168	167	170	P**	P**, N/P*	Traitements (Treatments) (P1 + P2) (5)
LB1	10-12	0	1,5	3,0	2,46	2,60	2,65	138	159	156	P*, K**, Mg**	P**, Mg**	» (P1 + P2) Mg1 (6)
SG1	6-8	0	1,5	3,0	2,85	2,90	2,87	191	195	203	—	—	Néant (Nil) (7)
SG1	9-11	0	1,5	3,0	2,76	2,81*	2,85*	206	210	213	—	—	Néant (Nil) (7)

(1) Kg/arbre/an (Kg/tree/year)

(2) Kg régimes/arbre/an (Kg bunches/trees/year).

(3) Effets significatifs \* = 5 %, \*\* = 1 % (Significant effects).

(4) Interaction insuffisante pour influencer le calcul des niveaux critiques (Interaction insufficient to influence the results of critical level calculations).

(5) Aucune influence de la fumure et courbe de réponse des rendements inutilisable (No fertilizer effect and yield response curve unusable).

(6) Les résultats de rendement ne peuvent pas être ajustés selon la loi de Mitscherlich (Yield results cannot be adjusted to Mitscherlich).

(7) Aucun effet significatif de l'urée sur les rendements (No significant effect of urea on yield)

(8) N/K = Interaction N/K, etc

TABLEAU III. — Détermination des doses d'urée optimales,  $x_m$ , et des niveaux critiques de N correspondants dans deux situations économiques — (*Determination of optimum urea rates,  $x_m$ , and of corresponding critical N level in two economic situations*)

Essai (Trial)	Localité (Locality)	Type de sol (Soil type)	Catégorie d'âge (Age group)	Age moyen (Mean ages)	$x_m$ (1)		Production (Production) (2)		Niveaux critiques de N (Critical N levels) (3)	
					$\frac{dy}{dx} = 5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$	$\frac{dy}{dx} = 5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$	$\frac{dy}{dx} = 5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$
AK1	Côte est (East coast)	Sédimentaire (Sedimentary)	4-6	5	4,7	7,5	219	229	3,00	3,02
BB3	»	Volcanique (Volcanic)	4-6	5	1,5	5,9	209	225	2,84	2,88
AK1	»	Sédimentaire (Sedimentary)	7-9	8	1,2	1,5	194	195	2,80	2,80
BB3	»	Volcanique (Volcanic)	7-9	8	1,6	2,3	200	202	2,72	2,73
TG2	»	Sédimentaire (Sedimentary)	9	9	2,0	2,7	199	201	2,74	2,76
BB3	»	Volcanique (Volcanic)	10-12	11	1,2	1,9	182	184	2,63	2,67
SL1	»	Sédimentaire (Sedimentary)	10-12	11	1,6	2,2	203	205	2,73	2,74
TG2	»	Sédimentaire (Sedimentary)	10-12	11	2,7	3,6	202	206	2,71	2,74
TG2	»	Sédimentaire (Sedimentary)	13-15	14	3,0	4,0	190	193	2,67	2,72
AL1	»	Volcanique (Volcanic)	17-18	17,5	2,0	2,7	143	145	2,36	2,41
AL1	»	Volcanique (Volcanic)	19-21	20	2,4	3,2	134	136	2,42	2,49
AL1	»	Volcanique (Volcanic)	22-24	23	1,4	1,8	147	148	2,38	2,41
AL1	»	Volcanique (Volcanic)	25-27	26	1,9	3,2	143	148	2,39	2,46

(1) Kg urée/arbre/an (Kg urea/tree/year)

(2) Rendement maximum correspondant à  $x_m$ ; en kg de régimes/arbre/an (Maximum yield corresponding to  $x_m$ ; in kg bunches/tree/year)

(3) Teneur en N de la feuille 17 en % sur matière sèche (N content of leaf 17; in % of dry matter)

Lorsque la situation économique devient deux fois plus favorable,  $\frac{dy}{dx}$  passant de la valeur 5 à celle de 2,5, les quantités d'engrais  $x_m$  sont augmentées, parfois très fortement, pour obtenir des augmentations de production très modestes et entraînant des élévations du niveau critique inférieures à la précision des analyses de laboratoire.

Ceci s'explique par le fait que dans ces situations économiques favorables ou très favorables, on se situe dans la partie droite très plate des courbes de réponse tant pour la production (Fig. 1) que pour les teneurs en N. Il n'en serait pas de même pour des conditions économiques moins favorables, caractérisées par exemple par un  $\frac{dy}{dx} > 5$ . Dans ce qui suit, seul la situation  $\frac{dy}{dx} = 5$  sera prise en considération.

Par contre, indépendamment des situations, la décroissance du niveau critique est bien liée avec l'âge des arbres selon un ajustement du second degré :

$$N_c = 3,192 - 0,059 n + 0,001 n^2;$$

$N_c$  = niveau critique économique de N (avec  $\frac{dy}{dx} = 5$ );

$n$  = âge des palmiers (en années).

Cette relation, représentée à la figure 2, explique 90 % des variations observées.

Dans la pratique, l'application des quantités d'engrais définies par le calcul aurait conduit à des taux globaux de rentabilité de l'urée (nombre de kilos de régimes supplémen-

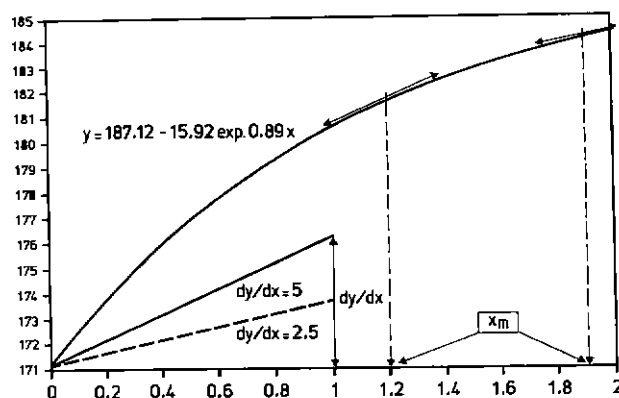


FIG. 1. — BB3, effet de l'urée sur la production Ajustement selon Mitscherlich — (BB3; Effect of urea on production Adjusted according to Mitscherlich's law).

A = Kg de régimes/arbre/an — (Kg bunches/tree/year).

B = Kg d'urée/arbre/an — (Kg urea/tree/year)

taires par kilo d'urée) compris entre 6,0 et 17,5 selon les essais et les périodes; il ne paraît pas possible de trouver de relation nette entre cette notion de rendement de l'engrais et l'origine des sols ou l'âge des arbres.



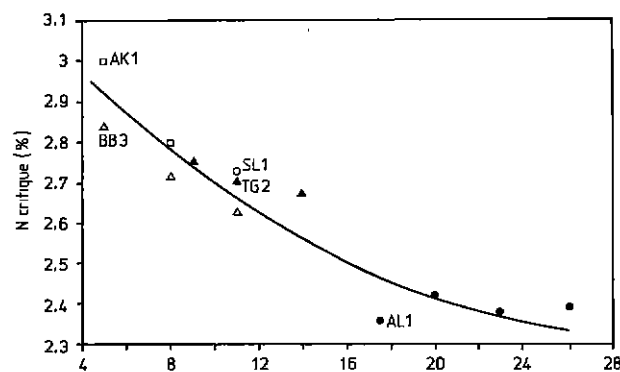


FIG. 2. — Evolution du niveau critique de N en fonction de l'âge des arbres ( $dy/dx = 5$ ). — (Evolution of critical N levels according to tree age -  $dy/dx = 5$ ).

A = N critique % — (Critical N).

B = Age des arbres (ans) — (Tree age/years).

## ÉQUILIBRE DES TENEURS FOLIAIRES EN AZOTE ET PHOSPHORE

### 1. — Rappel des résultats antérieurs.

L'interdépendance étroite des deux éléments N et P, résultant de la composition assez constante des protéines végétales dont ils sont les constituants pour l'essentiel, fait qu'il ne peut exister un niveau critique unique pour P, mais bien plutôt une « courbe critique » fonction des teneurs en N. Cette courbe avait pu être « quantifiée » sur des arbres de 15 ans de l'essai AL1 par l'équation du premier degré :

$$(1) \quad P \% = 0,0487 N \% + 0,039$$

Ainsi que le rapportaient M. Ollagnier *et al.* en 1981, le modèle précédent issu d'une expérience du nord de Sumatra permettait d'expliquer des résultats expérimentaux observés en des situations aussi diverses que le Brésil, la Colombie ou la Côte-d'Ivoire (Fig. 3).

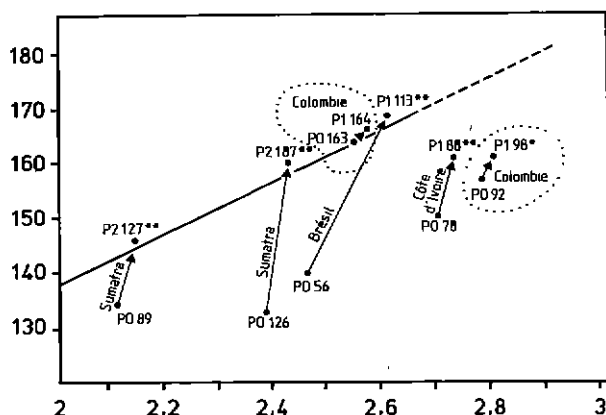


FIG. 3. — Niveaux critiques du phosphore en fonction des teneurs en azote — (Critical phosphorus levels according to N contents).

A = Teneurs foliaires : P - % (feuille 17) — (Leaf contents : P - % - leaf 17).  
B = Teneurs foliaires : N - % (feuille 17) — (Leaf contents : N - % - leaf 17).  
127\*\* = Production (kg de régimes/arbre/an) significativement supérieure à celle de l'objet PO sans phosphate — (Production - kg bunches/tree/year - significantly higher than that of treatment PO without phosphate).

La question pouvait se poser de savoir si cet équilibre N/P évoluait avec l'âge des arbres et pour ce faire, il a paru

intéressant d'utiliser les résultats obtenus ces dix dernières années sur le réseau expérimental SOCFINDO du nord de Sumatra.

### 2. — Résultats actuels.

La même méthodologie que précédemment a été appliquée pour déterminer les niveaux critiques de P.

Dans un premier temps, on a éliminé les essais ou périodes pour lesquels l'application de phosphate n'avait d'effet ni sur les productions ni sur les teneurs foliaires en P (Tabl. IV).

Par ailleurs, dans l'essai AK1, les applications de phosphate augmentent simultanément les teneurs en P et en N ; ainsi, les courbes de réponse de la production aux applications de phosphate ne pourront être valablement reliées aux variations des seules teneurs en P.

En définitive, trois essais sont utilisables (Tabl. V).

Les mêmes méthodes de calcul que celle utilisée dans le cas de l'azote, aboutissent aux différents niveaux critiques de P (Tabl. VI).

### 3. — Commentaires, discussion.

On remarque tout d'abord que, comme pour les niveaux critiques de N, ceux de P sont très peu influencés par la modification des conditions économiques : pour  $\frac{dy}{dx} = 2,5$  les niveaux critiques sont pratiquement identiques à ceux calculés dans l'hypothèse  $\frac{dy}{dx} = 5$ .

A ces niveaux critiques, déterminés pour  $\frac{dy}{dx} = 2,5$ , correspondent des accroissements de doses d'engrais entraînant des augmentations de production très modestes ; pour l'ensemble des résultats du tableau VI, à un supplément moyen de 0,6 kg de superphosphate/arbre/an correspond un accroissement de production de 2,2 kg de régimes/arbre/an.

Des résultats du tableau VI, on peut déterminer dix « points d'équilibre » N/P correspondant aux niveaux critiques de P pour une teneur déterminée de N : la courbe s'ajustant à la distribution de ces points correspond donc « à la courbe » d'équilibre critique du rapport N/P. Un ajustement linéaire explique 78 % des variations observées avec un coefficient de corrélation de 0,88 significatif à 1 % (Fig. 4) :

$$(2) \quad P \text{ critique } \% = 0,0347 N \% + 0,075$$

$$\left(\text{pour } \frac{dy}{dx} = 5\right).$$

Sur la même figure a été représentée la droite d'équilibre définie initialement pour des arbres de 15 ans, équation (1), qu'il n'est pas possible de distinguer statistiquement de la nouvelle droite d'équilibre N/P, équation (2).

Les différences de niveaux critiques obtenues avec ces deux droites dans l'intervalle habituel de variation des teneurs en N sont en fait négligeables, car inférieures à la précision des laboratoires d'analyse :

En conclusion, l'équilibre N/P défini antérieurement sur des arbres de 15 ans est confirmé pour des arbres d'âge variant entre 8 et 26 ans, selon l'équation initiale, à conserver :

$$P \% = 0,0487 N \% + 0,039$$

équation valable pour les conditions économiques favorables ou très favorables,  $\frac{dy}{dx}$  compris entre 5 et 2,5.

Le rendement de l'engrais phosphaté, c'est-à-dire la quantité de régimes supplémentaires par kilo de phosphate apporté varie entre 9 et 45 kg avec un net effet du niveau de la nutrition azotée.

TABLEAU IV. — Caractéristiques des essais ne présentant pas de réponse aux apports phosphorés — (*Characteristics of trials not presenting a response to phosphate applications*)

Essai (Trial)	Localité (Locality)	Type de sol (Soil type)	Catégorie d'âge (Age group)	Doses de phosphate (Phosphate rates) (1)			Teneurs en P (P contents %) (2)			Production (Production) (2)			Remarques (Comments)
				P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2	
TG2	Côte est (East coast)	Sédimentaire (Sedimentary)	9	0	1,0	2,0	0,162	0,161	0,164	188	187	193	Aucun effet à l'engrais phosphoré (No phosphate effect)
TG2	»	»	»	0	1,0	2,0	0,154	0,156	0,159	180	184	187	»
TG2	»	»	»	0	1,0	2,0	0,157	0,163	0,167	162	166	175	Faible influence sur les rendements grâce aux teneurs en N plus élevées (Slight effect on yield due to increased N contents)
NL1	»	»	»	0	1,0	2,0	0,164	0,166	0,166	158	152	151	»
SL1	»	»	»	0	1,0	2,0	0,172	0,172	0,174	165	170	170	»
SL1	»	»	»	0	1,0	2,0	0,171	0,174	0,177	191	194	198	»
SG1	Côte ouest (West coast)	»	6-8	0	1,5	3,0	0,180	0,179	0,179	203	191	195	»
SG1	»	»	»	0	1,5	3,0	0,184	0,182	0,182	217	212	200	»

(1) Kg/arbre/an de superphosphate triple ou équivalent (*Kg/tree/year of triple superphosphate equivalent*).(2) Kg de régimes/arbre/an (*Kg bunches/tree/year*).TABLEAU V. — Influence de l'engrais phosphoré sur les teneurs foliaires et les rendements, essais où l'engrais phosphoré n'influence pas la nutrition en azote — (*Effects of phosphorus fertilizer on leaf contents and yields, trials in which phosphorus fertilizer does not affect nitrogen nutrition*)

Essai (Trial)	Age (Age)	Doses de phosphate (Phosphate rates) (1)			Etendue de l'essai (Scope of study)		Teneur en N (N content %)			Teneurs en P (P contents %)			Production (Production) (2)		
		P0	P1	P2		P0	P1	P2	P0	P1	P2	P0	P1	P2	
AL1	17-18	0	1,5	3,0	Traitements (Treatments)	(N1 + N2)	2,36	2,40	2,44	0,130	0,158	0,162	109	157	167
AL1	19-21	0	1,5	3,0	»	N0	2,18	2,17	2,18	0,134	0,146	0,147	83	99	108
AL1	19-21	0	1,5	3,0	»	N1	2,41	2,34	2,42	0,133	0,154	0,158	99	143	153
AL1	19-21	0	1,5	3,0	»	N2	2,42	2,48	2,49	0,127	0,158	0,161	97	151	160
AL1	22-24	0	1,5	3,0	»	N1	2,45	2,41	2,43	0,135	0,157	0,164	125	156	165
AL1	22-24	0	1,5	3,0	»	N2	2,47	2,50	2,51	0,128	0,161	0,166	108	170	171
AL1	25-27	0	1,5	3,0	»	(N1 + N2)	2,45	2,41	2,43	0,134	0,162	0,168	121	156	159
BB3	10-12	0	1,0	2,0	»	N2	2,72	2,70	2,72	0,159	0,170	0,174	173	192	193
LB1	7-9	0	1,0	2,0	»		2,64	2,71	2,68	0,152	0,163	0,165	138	167	170
LB1	10-12	0	1,0	2,0	Tout l'essai (Whole of trial)	(N1 + N2)	2,53	2,59	2,56	0,146	0,167	0,171	128	143	146

(1) Kg/arbre/an de superphosphate triple ou équivalent (*Kg/tree/year of triple superphosphate equivalent*).(2) Kg de régimes/arbre/an (*Kg bunches/tree/year*).

Ainsi, le niveau de la nutrition azotée intervient à deux niveaux en matière de politique de fumure phosphorée :

- en premier lieu, en déterminant le niveau critique de P,
- en second lieu, en intervenant dans le rendement des apports de phosphate : celui-ci est, en moyenne, multipliée par deux lorsque la teneur en N passe de 2,20 à 2,40 %.

#### 4. — Rémanence de la fertilisation phosphorée.

Dans l'essai AL1, la subdivision des parcelles a été utilisée pour comparer la poursuite normale selon le protocole des applications de superphosphate triple à l'interruption de celles-ci. Cette interruption, effective depuis 1981, n'a pas entraîné jusqu'en 1988, c'est-à-dire 7 ans plus tard, de réduc-

TABLEAU VI. — Détermination des doses de superphosphate triple optimales,  $x_m$ , et des teneurs en P correspondantes, selon l'âge et les teneurs foliaires en N — (*Determination of optimum triple superphosphate rates,  $x_m$ , and of corresponding P levels depending on age and leaf N contents*)

Essai (Trial)	Localité (Locality)	Type de sol (Soil type)	Catégorie d'âge (Age group)	Nutrition en N (N nutrition)		$x_m$ (1)			Production (Production) (2)		Niveaux critiques de P (Critical P levels) (3)	
				Traitements (Treatments)	Teneur (Content)	$\frac{dy}{dx} = 5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$	$\frac{dy}{dx} = 5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$	$\frac{dy}{dx} = 5$	$\frac{dy}{dx} = 2,5$
AL1	Côte est (East coast)	Volcanique (Volcanic)	17-18	N1 + N2	2,40	2,5	3,2		165	168	0,161	0,162
AL1	»	»	19-21	N0	2,18	2,8	4,7		107	114	0,147	0,147
AL1	»	»	19-21	N1	2,39	2,5	3,2		151	153	0,157	0,158
AL1	»	»	19-21	N2	2,46	2,3	2,8		157	159	0,160	0,161
AL1	»	»	22-24	N1	2,43	2,4	3,2		163	166	0,162	0,165
AL1	»	»	22-24	N2	2,49	1,4	1,7		169	170	0,161	0,163
AL1	»	»	25-27	N1 + N2	2,43	1,5	2,0		157	158	0,162	0,165
BB3	»	»	10-12	N2	2,71	0,7	0,9		191	192	0,168	0,169
LB1	Côte ouest (West coast)	Sédimentaire (Sedimentary)	7-9	A11	2,68	1,2	1,5		168	169	0,164	0,164
LB1	»	»	10-12	A11	2,56	1,2	1,7		144	145	0,168	0,170

(1) Kg superphosphate triple/arbre/an (Kg triple superphosphate/tree/year).

(2) Rendement maximum correspondant à  $x_m$ , en kg de régimes/arbre/an (Maximum yields corresponding to  $x_m$ , in kg bunches/tree/year).

(3) Teneur en P de la feuille 17 ; en % sur matière sèche (P content of leaf 17, in % of dry matter).

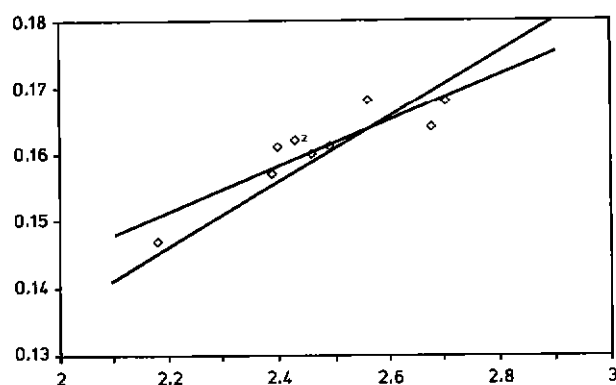


FIG. 4. — Ajustements des niveaux critiques de P. P critiques, fonction des teneurs en N — (*Adjusting critical P levels. Critical P levels, depending on N contents*)

A = Teneur en P (%) (P content).

B = Teneur en N (%) (N content)

◇ P critique calculé — (Calculated critical P)

TABLEAU VII. — Ecart des niveaux critiques en P selon les droites d'équilibre

Teneurs en N	Teneurs critiques en P	
	Equation (1)	Equation (2)
2,10	0,141	0,148 (+ 4,9 %)
2,20	0,146	0,151 (+ 3,4 %)
2,40	0,156	0,158 (+ 1,3 %)
2,60	0,166	0,165 (− 0,1 %)
2,80	0,175	0,172 (− 1,8 %)
2,90	0,180	0,176 (− 2,2 %)

tion significative ni des teneurs foliaires en P ni des productions (Tabl. VIII).

TABLEAU VIII. — Essai AL1 ; effets de l'interruption des apports phosphorés depuis 1981 ; objets P1 + P2

Période	Teneurs en P (%)		Production kg/arbre	
	Sans interruption	Avec interruption	Sans interruption	Avec interruption
1979-1981	0,157	0,156	133	138
1982-1984	0,158	0,157	160	149 (1)
1985-1987	0,159	0,160	154	149 (1)

(1) Différences non significatives.

Ainsi, si la fixation du phosphore dans les sols ferrallitiques oblige à recourir initialement à des doses supérieures aux besoins du palmier à huile (qui exporte annuellement seulement une vingtaine de kilos de l'élément P par hectare), la saturation progressive du pouvoir fixateur du sol pourrait permettre de réduire, voire même d'interrompre momentanément, les apports sur le long terme.

Il convient de tenir compte de cette observation dans la conception des barèmes de fumure phosphorée et dans leur utilisation : en effet, contrairement aux autres éléments, tel l'azote, les applications de phosphate pourraient être réduites, voire même interrompues temporairement dès que le niveau critique est atteint : cette méthode sera d'autant plus justifiée que l'obtention du niveau critique aura exigé davantage de quantités cumulées de phosphate.

## CONCLUSION

L'étude des résultats obtenus sur le réseau expérimental établi sur les plantations de palmier à huile de la



SOCFINDO dans le nord de Sumatra confirme l'existence en diverses situations de la double déficience azotée et phosphorée. Elle apparaît aussi bien sur sols d'origines volcanique et alluvionnaire que sur origine sédimentaire.

Le niveau critique économique de la teneur foliaire en N, Nc, diminue avec l'âge, mais plus rapidement sur jeunes arbres que sur vieux, soit avec un niveau critique de 2,95 % à 4 ans :

— entre 4 et 10 ans, Nc diminue en moyenne de 0,05 par an,

— entre 10 et 22 ans, cette réduction n'est plus que de 0,025 par an,

— au-delà de 20 ans, d'ailleurs, Nc peut être considérée comme stable, avec une diminution théorique, entre 20 et 26 ans de 0,01 par an.

Bien évidemment, cette évolution de Nc est une constante dans le monde, mais il serait intéressant de vérifier si ses caractéristiques en sont modifiées par les conditions de milieu.

Il a été confirmé que la notion de teneur critique en P devait être remplacée par celle d'équilibre critique N/P. La droite d'équilibre établie il y a une douzaine d'années pour des arbres de 15 ans d'une expérience de Sumatra est confirmée pour des âges compris entre 8 et 26 ans.

Cette relation N/P

$$P \% = 0,0487 N \% + 0,039$$

paraît « universelle » non seulement dans l'espace (dans différentes situations élaicoles du monde) mais également dans le temps.

En matière de fertilisation phosphorée, il est par ailleurs démontré que les apports de phosphate peuvent être réduits, voire même interrompus, une fois que la teneur critique de la feuille 17 est atteinte ; cette méthode sera d'autant plus sûre que l'obtention du niveau critique aura nécessité une plus grande quantité de phosphate.

Pour l'ensemble des situations étudiées, l'application de la dose optimale xm d'urée, aurait permis une augmentation moyenne de production équivalente à 3,9 t de régimes/ha/an pour une consommation annuelle de 280 kg d'urée. De la même manière l'application des doses xm de superphosphate triple aurait accru la production de 5,3 t de régimes/ha/an pour une consommation annuelle de 250 kg de superphosphate.

Bien entendu, dans la gestion des nutriments en N et P, il y a toujours lieu de veiller à celles des autres éléments en particulier de K dont les teneurs sont fréquemment déprimées par les phosphates.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] UMMAR AKBAR, TAMPUBOLON F. H., AMIRUDDIN D., OLLAGNIER M. (1976). Fertilizer experimentation on oil palm in north Sumatra. *Oléagineux*, 31, p. 305-316.
- [2] IRHO. — Rapport d'activités 1976-1977.
- [3] DELL W., ARENS P. L. (1957). Inefficacité du phosphate naturel pour le palmier à huile sur certains sols de Sumatra. *Oléagineux*, 11, p. 675-683.

- [4] IRHO. — Rapport d'activités 1978-1979.

- [5] OLLAGNIER M., OCHS R. (1981). — Management of mineral nutrition on industrial oil palm plantations ; fertilizer savings. *Oléagineux*, 36, p. 409-418.

## SUMMARY

### Oil palm responses to nitrogen and phosphate fertilizer in Sumatra.

F. H. TAMPUBOLON, C. DANIEL, R. OCHS, *Oléagineux*, 1990, 45, N° 11, p. 475-486.

Over the past several years, the experimental network set up on the SOCFINDO plantations in northern Sumatra has revealed a nitrogen deficiency on soils of volcanic or sedimentary origin, very often accompanied by an insufficient level of phosphorus nutrition. This explains why the simultaneous application of urea and triple superphosphate increased mean production in an experiment from 12.5 to 22 tonnes of bunches/hectare/year between 17 and 28 years. As of the end of the 1970's, we were able to define critical leaf N content levels, at the same time as showing that for P, the notion of a critical level should be replaced by that of an optimum N/P balance, expressed by the following equation :  $P \% = 0.0487 N \% + 0.039$  (1) which was valid at the time for trees aged 15. Ten years later, the exploitation of results from eight experiments in the SOCFINDO network permitted the study of evolutions in critical N content and the N/P balance equation according to tree age. These studies were conducted by adjusting response curves according to Mitscherlich's law on less than proportional increases, and by determining so-called « economic » critical levels, depending upon market factors (fertilizer and palm oil prices). The critical N level diminishes with age, rapidly between 4 and 20 years, dropping from 2.90 % to 2.50 % over this period, then more slowly after 20 years, since it is still 2.40 % at 28 years. The critical level is not very sensitive to fluctuating market factors. Critical P levels, calculated in the same way as those for N, fall along the balance line (1), regardless of tree age, between 17 and 28 years. The new N/P balance line for the situations and ages studied as a whole is as

## RESUMEN

### Respuestas de la palma africana a las fertilizaciones nitrogenada y fosfatada en Sumatra.

F. H. TAMPUBOLON, C. DANIEL, R. OCHS, *Oléagineux*, 1990, 45, N° 11, p. 475-486.

Desde hace varios años, la red experimental establecida en las plantaciones de la SOCFINDO, al Norte de Sumatra, había permitido evidenciar una deficiencia de nitrógeno, en los suelos de origen volcánico o sedimentario, que muchas veces viene acompañada por un nivel insuficiente de la nutrición fosforada. Así es cómo la aplicación simultánea de urea y superfosfato triple ha hecho pasar la producción media de un experimento entre los 17 y los 28 años, de 12,5 a 22 t de racimos/ha/año. Ya a finales de los años 1970, los niveles críticos de los contenidos foliares de N habían logrado definirse, y al mismo tiempo se demostraba que para el elemento P el concepto de nivel crítico tenía que sustituirse por el de equilibrio óptimo N/P, expresado por la siguiente ecuación :  $P \% = 0,0487 N \% + 0,039$  (1), entonces válida para árboles de 15 años de edad. Diez años después, el aprovechamiento de los resultados de ocho experimentos de la red de la SOCFINDO permitió estudiar las evoluciones del nivel crítico de N y de la ecuación de equilibrio N/P con arreglo a la edad de las palmas. Estos estudios se hicieron ajustando las curvas de respuesta según la ley de incrementos menos que proporcionales de Mitscherlich, y estableciendo niveles críticos llamados « económicos », que dependen de las condiciones corrientes (fertilizantes y aceite de palma). El nivel crítico de N disminuye con la edad, primero rápidamente de los 4 a los 20 años, pasando de un 2,90 % a un 2,50 % durante este período, y luego más lentamente después de los 20 años, manteniéndose en un 2,40 % a los 28 años. La sensibilidad del nivel crítico a las fluctuaciones de las condiciones del mercado está reducida. Los niveles críticos de P, calculados del

follows :  $P \% = 0.0347 N \% + 0.075$  (moderately favourable economic conditions, with 5 kg of bunches covering the cost of 1 kg of phosphate).

Compared with the graph for the balance in trees aged 15 (1), optimum P level variations are low, i.e. a + 4.9 % difference for an N content of 2.10 %, and only - 0.6 % for an N content of 2.70 %. These results are obviously of considerable practical importance for the rational and economic management of nitrogen and phosphate fertilizers throughout the life of a plantation. In addition, it has so far been impossible to contradict the N/P balance defined in Sumatra in any other area of the world.

mismo modo que los de N, se ajustan en la recta de equilibrio (1) cualquiera que sea la edad de las palmas entre los 8 y los 26 años. La nueva recta de equilibrio N/P para el conjunto de las situaciones y edades estudiadas es la siguiente :  $P \% = 0,0347 N + 0,075$  (dentro de condiciones económicas medianamente propicias, con 5 kg de racimos que permiten pagar 1 kg de fosfato). Relativamente a la recta de equilibrio de palmas de 15 años (1), las variaciones de los niveles óptimos de P son leves, lo cual significa una diferencia de un + 4,9 % por un contenido de N de un 2,10 %, y sólo de un - 0,6 % por un contenido de N de 2,70 %. Estos resultados tienen importantes aplicaciones prácticas, claro está, en la gestión racional y económica de las fertilizaciones nitrogenada y fosforada a lo largo de toda la vida de los palmerales. Por otra parte, el equilibrio N/P definido en Sumatra no ha logrado desmentirse de momento en ninguna otra región del mundo.

## Oil palm responses to nitrogen and phosphate fertilizer in Sumatra

F. H. TAMPUBOLON (1), C. DANIEL (2), R. OCHS (2)

### INTRODUCTION

The oil palm plantations in north Sumatra are for the most part located on soils of volcanic and alluvial, but also sedimentary origin.

Although these soils generally have apparently satisfactory organic matter and total nitrogen contents, nitrogen fertilizer applications increase oil palm nutrition levels and yields, sometimes spectacularly. This was shown as early as 1976 by Ummar Akbar *et al.* for SOCFINDO's plantations, on which the total nitrogen content of the upper soil horizons to a depth of 50 cm remains around 1 %.

The trees' phosphorus nutrition varies according to situations corresponding to equally variable soil contents : the total P content of the upper horizon (0-20 cm) varies between 150 and 1,300 ppm, with extreme values of 60 and 830 ppm respectively for the 30-50 cm horizon (SOCFINDO experimental network). According to studies carried out by IRHO in conjunction with the Institut Mondial du Phosphate, such a range of contents should lead to situations both of phosphorus deficiency and good phosphorus nutrition. Responses to phosphate fertilizers were recorded as early as 1957 by Dell *et al.*, and again by Ummar Akbar *et al.* In the meantime, IRHO had shown, that due to the significant synergism which exists in oil palm between leaf N and P contents, the critical P level could not be considered independently of that for N, whence the new notion of a critical balance between P and N contents.

This article will attempt, in the fields of nitrogen and phosphorus fertilizer, to exploit the results obtained over the past ten years on the experimental network set up by SOCFINDO in north Sumatra.

The following points will be discussed in particular detail :

- determination of changes in the critical level of leaf N content according to tree age ;
- new method for determining the optimum ratio of leaf N and P contents (N/P balance) ;
- determination of changes in this optimum ratio according to tree age.

The agronomical and economic importance of correcting this double deficiency is illustrated by the mean yield increase obtained on SOCFINDO's oldest experiment, AL1, i.e. a mean yield which increases from 12.5 to 22.0 tonnes of bunches/ha/year between the ages of 17 and 28 years, through simultaneous urea and triple superphosphate applications.

### MATERIAL AND METHODS

#### 1. — The SOCFINDO experimental network.

Eight of the agronomical experiments set up by SOCFINDO on its plantations in north Sumatra study both nitrogen and phosphorus fertilizer applications : in each case, the design is factorial, with three levels for each of the fertilizers.

The experiments are spread over eight different plantations, six on the East and two on the West Coast, which has very high rainfall, and on soils of volcanic and sedimentary origin (Table I). This means that the results of chemical soil analyses cannot be linked to their origins. Hence it is that very different carbon, total nitrogen and phosphorus form contents are observed in sedimentary soils, depending on the situation (compare, for example, Aek Kwasan and Seunagan) ; the soils of volcanic origin seem to be more uniform, although carbon and total nitrogen contents at Aek Loba are markedly higher than those at Negri Lama or Tanah Gambus. Various factors may explain these variations : topographical situations which have led to more or less pronounced erosion, different previous crops, etc.

#### 2. — Experimental procedure.

The experiments are made up of experimental plots comprising a minimum of twenty-five useful trees for the main plots and ten for the sub-plots (in the case of subdivided factorial trials).

Fertilizer responses are checked annually as regards the nutrition (leaf analysis) and production (bunch number and weight) of the useful trees.

#### 3. — Principles for exploiting results ; critical leaf N content levels.

The results obtained since each experiment was set up were grouped together, whenever possible, per period of three successive campaigns, in such a way as to reduce distortions caused by possible irregular results in certain years ; in addition, determining tree age to the nearest two years seems to be sufficient, and working to the nearest year would only produce an illusion of accuracy.

Throughout this article, tree age is taken as that at the time of leaf analysis sampling. The production campaigns are a year behind this date.

For each age group, analyses of variance determine whether nitrogen fertilizer has a significant effect on production ; in such cases, the response is adjusted according to Mitscherlich's law of less than proportional responses, which is expressed mathematically by the formula :

$$y = a - b e^{-cx}$$

y = production data item (e.g. in kg of bunches/tree/year),  
x = quantity of fertilizer (e.g. in kg of urea/tree/year).

(1) P. T. SOCFINDO, Agricultural Department, B.P. 254, Medan, Indonesia.

(2) IRHO-CIRAD Agronomy Division, P.O. Box 5035, 34032 Montpellier Cedex, France

As knowledge stands at the moment, this type of adjustment seems to correspond well to increases in oil palm production in the range of rates generally applied in agronomical trials.

Using the production response curve (an example is given in Fig 1), the maximum economic fertilizer quantity,  $x_m$ , is determined, i.e. that whose cost (fertilizer spread around the tree) is exactly covered by the net value of the extra bunches produced. This quantity,  $x_m$ , corresponds to the point where the tangent to the curve is parallel to the  $\frac{dy}{dx}$  balance line, where  $dy$  = the quantity of

bunches whose net value is equal to the cost of a quantity of fertilizer applied,  $dx$ . This ratio  $dy : dx$  therefore characterizes the economic conditions prevailing in a given situation and at a given time.

In the case of Sumatra, the quantities of fertilizer  $x_m$  were calculated for two values of  $\frac{dy}{dx}$ , i.e. :

$\frac{dy}{dx} = 5$ ; moderately favourable situation, with 5 kg of bunches covering the cost of 1 kg of fertilizer  
and  
 $\frac{dy}{dx} = 2.5$ ; very favourable situation, since only 2.5 kg of bunches are needed to cover the cost of 1 kg of fertilizer.

The same method is used to determine leaf N content response curves according to fertilizer rates; it is then possible to calculate critical economic N levels corresponding to rates  $x_m$ .

Determination of production of leaf content response curves according to fertilizer rates is carried out on all or part of the experiment, depending on the effects and/or interactions of other elements (see results section).

In short, it is possible to calculate critical economic leaf N content levels for :

- each trial,
- each age range (each covering 3 years),
- any hypothesis regarding economic conditions, two of which have been adopted here, i.e.  $\frac{dy}{dx} = 5$  and 2.5.

#### 4. — Principles for exploiting results; balance between leaf nitrogen and phosphorus contents.

In the eight experiments mentioned previously, exactly the same procedure was followed for determining critical leaf P content levels, but each time within a defined range of N contents. Hence, critical P levels correspond to a certain number of N contents, which is how the N/P balance curve can be determined for each trial, each age group, and according to the economic conditions defined by the values given to the ratio  $dy : dx$ .

This procedure calls for further investigations when phosphate applications lead to significant increases not only in P, but also in N contents (see results section).

### CRITICAL LEAF N CONTENT LEVELS

#### 1. — Results.

Table II summarizes the effects of urea on leaf N contents and production.

The results of three trials are not suitable for use :

- In NL1, Negri Lama plantation, urea, even at the highest rate of 2 kg/tree/year, does not increase either leaf contents or production.
- In SG1, Seunagan plantation, urea does not significantly increase production, although it does markedly improve nitrogen nutrition for the period 9-11 years.
- In LB1, Lae Butar plantation, urea increase leaf N contents for the period 7-9 years, without affecting production; for the period 10-12 years, the critical level cannot be calculated (production data impossible to adjust), but it could be conceded that N approaches a critical level of < 2.60.

All in all, it proved possible to apply the methodology described at the start of the article in thirteen cases spread over five experiments, and the results obtained are summarized in table.

#### 2. — Interpretation, discussion.

It seems difficult to link these various results to soil origins, even though, at comparable ages, critical levels on volcanic soil appear to be markedly inferior to those on sedimentary soils.

When the economic situation becomes twice as favourable, with the  $\frac{dy}{dx}$  value going from 5 to 2.5, fertilizer quantities  $x_m$  are increased, often very significantly, in order to obtain very modest production increases, and leading to increases in critical levels inferior to those deduced from laboratory analyses.

This can be explained by the fact that in these favourable or very favourable economic situations, operations are situated at the right-hand, very shallow end of the response curve, for both production (Fig 1) and N contents. This would not be the case with less favourable economic conditions, characterized, for example by a  $\frac{dy}{dx} > 5$ . From now on, only the situation  $\frac{dy}{dx} = 5$  will be considered.

However, independent of situations, the decrease in the critical level is strongly linked with tree age, following second degree adjustment :

$$\begin{aligned} \text{CN} &= 3.192 - 0.059 n + 0.001 n^2 \\ \text{CN} &= \text{Critical economic N level (with } \frac{dy}{dx} = 5). \\ n &= \text{oil palm age (in years).} \end{aligned}$$

This relationship, expressed in figure 2, explains 90 % of the variations observed.

In practice, applying the quantities of fertilizer defined by calculation would have led to overall urea profitability rates of between 60 and 175 according to the trials and periods; it does not seem possible to find a clear relationship between the idea of fertilizer return and soil origin or tree age.

### BALANCE BETWEEN LEAF NITROGEN AND PHOSPHORUS CONTENTS

#### 1. — Reminder of previous results.

The close interdependency of the two elements, N and P, resulting from the relatively stable composition of the plant proteins which they basically compose, means that there cannot be a single critical level for P, but rather a « critical curve » depending on N contents. It was possible to « quantify » this curve on 15 year-old trees in trial AL1, using a first degree equation :

$$(1) \quad P \% = 0.0487 N \% + 0.039$$

As reported by Ollagnier *et al.* (1981), the previous model, derived from an experiment in north Sumatra, made it possible to explain experimental results obtained in situations as diverse as Brazil, Colombia and Côte-d'Ivoire (Fig. 3).

The question arose whether the N/P balance evolves with tree age, and in order to check this, it seemed interesting to use the results obtained over the past ten years in the SOCFINDO experimental network in north Sumatra.

#### 2. — Recent results.

The same method was used as previously to determine critical P levels.

Firstly, the trials or periods in which phosphate applications affected neither production nor leaf P contents (Table IV).

In addition, in trial AK1, phosphate applications lead to simultaneous increases in both P and N contents; hence, the production response curves after phosphate applications cannot justifiably be linked to the variations in P content alone.

In short, three trials are suitable for use (Table V).

The same methods of calculation were used as for nitrogen, and produce varying critical P levels (Table VI).

#### 3. — Comments, discussion.

It is noted firstly that, as for critical N levels, critical P levels are very little affected by modifying economic conditions : for  $\frac{dy}{dx} = 2.5$ , the critical levels are almost identical to those calculated in the hypothesis  $\frac{dy}{dx} = 5$ .

Increased fertilizer rates correspond to these critical levels, determined for  $\frac{dy}{dx} = 2.5$ , and lead to very modest increases in production for the results in table VI as whole, a mean supplement of 0.6 kg of superphosphate/tree/year corresponds to a production increase of 2.2 kg of bunches/tree/year.

From the results in table VI, it is possible to determine ten N/P « balance points », corresponding to critical P levels for a given N content : a line adjusted to the distribution of these points therefore corresponds to the critical N/P balance « curve ». A linear adjustment explains 78 % of the variations observed with a correlation coefficient of 0.88, significant at 1 % (Fig. 4).

$$(2) \quad \text{Critical P \%} = 0.0347 \text{ N \%} + 0.075 \left( \text{for } \frac{dy}{dx} = 5 \right)$$

The same figure shows the balance line initially defined for 15 year-old trees, equation (1), which cannot be distinguished statistically from the new N/P balance line, equation (2).

The differences in critical levels obtained with these two lines over the usual variation interval for N contents are in fact negligible, since they are lower than the degree of accuracy for analysis laboratories :

TABLE VII. — Variations in critical P levels according to balance curves

N contents	Critical P contents	
	Equation (1)	Equation (2)
2.10	0.141	0.148 (+ 4.9 %)
2.20	0.146	0.151 (+ 3.4 %)
2.40	0.156	0.158 (+ 1.3 %)
2.60	0.166	0.165 (— 0.1 %)
2.80	0.175	0.172 (— 1.8 %)
2.90	0.180	0.176 (— 2.2 %)

In conclusion, the N/P balance defined beforehand on 15 year-old trees is confirmed for trees aged between 8 and 26 years, according to the initial equation, which should be retained :

$$P \% = 0.0487 N \% + 0.039$$

an equation which is valid for favourable or very favourable economic conditions, where  $\frac{dy}{dx}$  is between 5 and 2.5.

The return on phosphate fertilizer, i.e. the quantity of extra bunches per kilo of phosphate applied, varies between 9 and 45 kg, with a marked effect of nitrogen nutrition level.

Hence, the nitrogen nutrition level intervenes on two levels as far as phosphorus fertilizer policy is concerned :

- firstly, by governing critical P levels,
- secondly, by affecting the return on phosphate fertilizer applications : this is, on average, doubled when N content increases from 2.20 to 2.40 %.

#### 4. — The residual effects of phosphorus fertilizer ;

In trial AL1, plot subdivision was used to compare normal development in plots where the protocol for triple superphosphate applications was continued with those where applications were stopped. Applications were stopped in 1981, but by 1988, i.e. 7 years later, this had not yet led to significant reductions in either leaf P contents or production (Table VIII).

Hence, whilst phosphorus fixation in ferrallitic soils means that it is initially necessary to use rates higher than those needed by oil palm (which exports only around twenty kilos of P per hectare per

TABLE VIII. — Trial AL1 ; effect of stopping fertilizer applications as of 1981 ; treatments P1 + P2

Period	P contents		Production (kg/tree)	
	Continued	Stopped	Continued	Stopped
1979-1981	0.157	0.156	133	138
1982-1984	0.158	0.157	160	149 (1)
1985-1987	0.159	0.160	154	149 (1)

(1) Differences not significant.

year), the gradual saturation of the soil's fixing ability could make it possible to reduce, or even momentarily halt, long term applications.

It is wise to take account of this observation when drawing up and using phosphate fertilizer schedules : in effect, contrary to other elements, such as nitrogen, phosphate applications could be reduced, even temporarily halted, as soon as the critical level is reached : this method will be all the more justified in that higher cumulated phosphate quantities will have been necessary in order to reach the critical level.

#### CONCLUSION

The study of results obtained on the experimental network set up on SOCFINDO's oil palm plantations in North Sumatra confirms the existence in various areas of a double nitrogen and phosphorus deficiency. This occurs as much on volcanic and alluvial as on sedimentary soils.

The critical economic leaf N content level, cN, decreases with age, but more rapidly on young than on old trees, i.e. with a critical level of 2.95 at 4 years :

- between 4 and 10 years, cN decreases by 0.05 per year on average,
- between 10 and 22 years, this reduction has fallen to 0.025 per year,
- after 20 years, in fact, cN can be considered stable, with a theoretical reduction of 0.01 per year between 20 and 26 years.

Obviously, this change in cN is constant throughout the world, but it would be interesting to check whether its characteristics are affected by environmental conditions.

It has been confirmed that the idea of critical P content should be replaced by that of a critical N/P balance. The balance curve drawn up a dozen or so years ago for 15 year-old trees in an experiment in Sumatra is confirmed for ages of between 8 and 26.

This N/P relationship

$$P \% = 0.0487 N \% + 0.039$$

seems « universal » not only in space (in the various oil palm growing situations throughout the world), but also in time.

As far as phosphorus fertilizer is concerned, it has also been shown that phosphate applications can be reduced, even halted, once the critical content for leaf P is reached ; this method will be all the safer in that larger quantities of phosphate will have been needed to reach the critical level.

For the situations studied as a whole, applying the optimum urea rate xm seems to have enabled a mean production increase equivalent to 3.9 tonnes of bunches/ha/year for an annual consumption of 280 kg of urea. Similarly, applying rates xm of triple superphosphate seems to have increased production by 5.3 tonnes of bunches/ha/year, for an annual consumption of 250 kg of superphosphate.

Of course, when it comes to managing N and P nutrition, it is always wise to watch over nutrition in other elements, particularly K, whose contents are often depressed by phosphates.